

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ DMLS- И SLM- МЕТОДАМИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Безобразов Ю.А., асп. каф. ПОМ, ФТИМ,
Зленко М.А., д.т.н., зав. отделом «НАМИ»
Зотов О.Г., к.т.н., доц., Колбасников Н.Г., д.т.н., проф.
Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет
г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Классическая технология формовки и штамповки материалов, как правило, связана с массовым производством продукции, но её недостатком является отсутствие гибкости, большие затраты времени и средств при создании новой продукции разнообразного сортамента [1]. В начале 1980-х появились и стали интенсивно развиваться технологии формирования трёхмерных объектов [2] не путём удаления материала или изменения формы заготовки, а за счёт постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. В настоящее время значительное развитие получили технологии послойного формирования трёхмерных объектов по их компьютерным образам. Быстрое прототипирование (БП) или Rapid Prototyping (RP) – это аддитивные технологии, предполагающие формирование детали путем последовательного «наращивания» материала слой за слоем, для быстрого «макетирования», и создания опытных образцов практически любой формы. В качестве модельных материалов используются жидкие, порошковые, нитевидные полимеры; литейные воски; листовые материалы – металлопрокат, бумага, ПВХ-пленка; гипсовые композиции; лакированный литейный песок.

Развитие процессов послойного синтеза из стадии лабораторных исследований в конце 1980-х годов в начале 1990-х годов достигло уровня коммерческого и промышленного использования [3]. Особенно быстро RP-технологии развиваются в аэрокосмической отрасли (изготовление штучных и мало серийных деталей из специальных сплавов); в

медицине, в частности, в хирургии, протезировании, стоматологии (инструменты, имплантаты, протезы и т. д.); в инструментальной промышленности и ряде других областей. Эти технологии известны под разными терминами [4] и отличаются способом формирования слоёв детали.

Основной целью данной работы является исследование и сравнительная характеристика структуры образцов, полученных по технологиям:

- 1) DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – прямое лазерное спекание порошков металла;
- 2) SLM (Selective Laser Melting) – лазерное плавление порошков.

На рис. 1 показан процесс выращивания деталей, используемый в технологиях DMLS и SLM [5, 6]. Процесс происходит в рабочей камере, заполненной азотом для защиты порошка от окисления. Изготавливаемая деталь формируется слой за слоем в резервуаре с порошком. Слой детали формируется путём кратковременного воздействия импульса лазера на поверхность материала. Как только закончено формирование одного слоя лазером, платформа с порошком опускается на толщину одного слоя (обычно около 100 мкм). Одновременно поднимается второй резервуар с порошком, чтобы обеспечить материалом следующий слой, который распределяется с помощью плоской щетки или валика. После построения модель извлекается из массива порошка и очищается. Время изготовления образцов для обеих технологий определяется в основном объемом опытного образца, а не его сложностью.

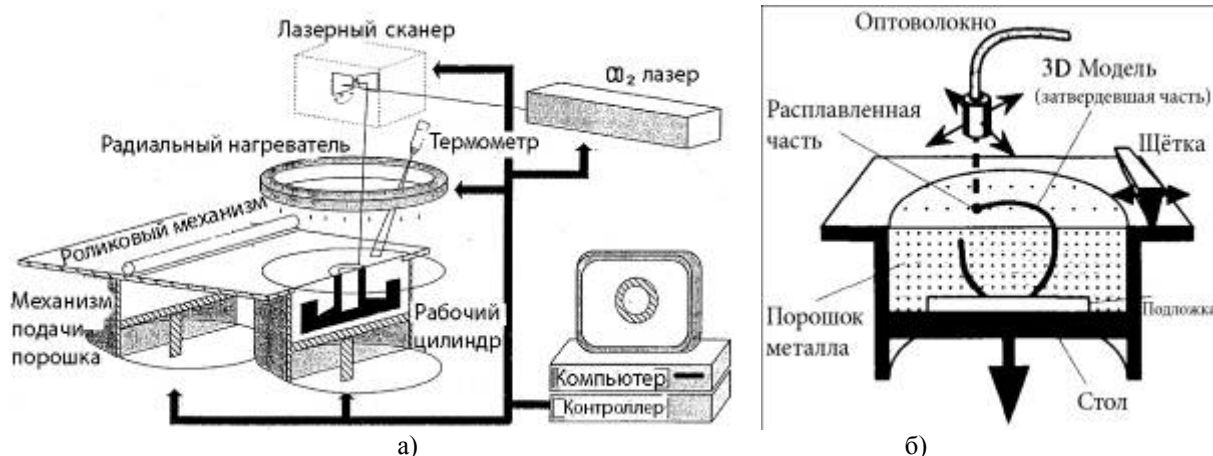


Рис. 1. Схема процесса: а) DMLS – лазерное спекание; б) SLM – лазерное плавление

В технологиях DMLS и SLM используют порошки металлов, полученные распылением расплава инертным газом, которые имеют сфериче-

скую форму и размер от 10 до 70 мкм. В случае (DMLS) прямого лазерного спекания, энергии лазера достаточно для расплавления мелкодисперсных

частиц и для частичного оплавления поверхности крупных частиц. Следовательно, мелкодисперсная фракция при создании изделия выступает в роли связующего материала, а крупноразмерная является основной структурной составляющей материала. Таким образом, в DMLS-технологии основными механизмами соединения частиц являются твёрдофазное и жидкофазное спекание [7]. Но в отличие от классического жидкофазного спекания в процессе DMLS сплавление частиц происходит локально при ускоренной кристаллизации жидкой фазы.

Технология лазерного плавления металла SLM во многом схожа с DMLS-технологией. Но, как правило, SLM-метод подразумевает полное расплавление частиц порошка металла. Для каждого нового материала режим обработки подбирается экспериментально, чтобы исключить сфероидизацию расплавленных капель и пористость в деталях.

В связи с этим промышленное использование этой технологии до сих пор ограничено.

В данной статье приведены результаты сравнительного анализа структуры и свойств деталей, полученных DMLS- и SLM- методами. Тестовые образцы выращены на машине Realizer SLM 100 (Realizer) (SLM метод) и на машине EOSINT M 250 (EOS) (DMLS метод). Для изготовления данных деталей использовались порошки фракций 10-70 мкм, полученные распылением. Исследуемые материалы: мартенситно-твердеющая сталь 1.2709 ($C < 0,02\%$; $Mo - 5\%$; $Ni - 18\%$; $Co - 10\%$; $Ti - 1\%$), полученная DMLS-методом (рис.2а); инструментальная сталь H13 (аналог штамповой стали 4X5MФ1C), титан Ti 99.8%, сплав AlSi – образцы, полученные SLM-методом, имеют форму куба $10 \times 10 \times 10$ мм (рис.2б).

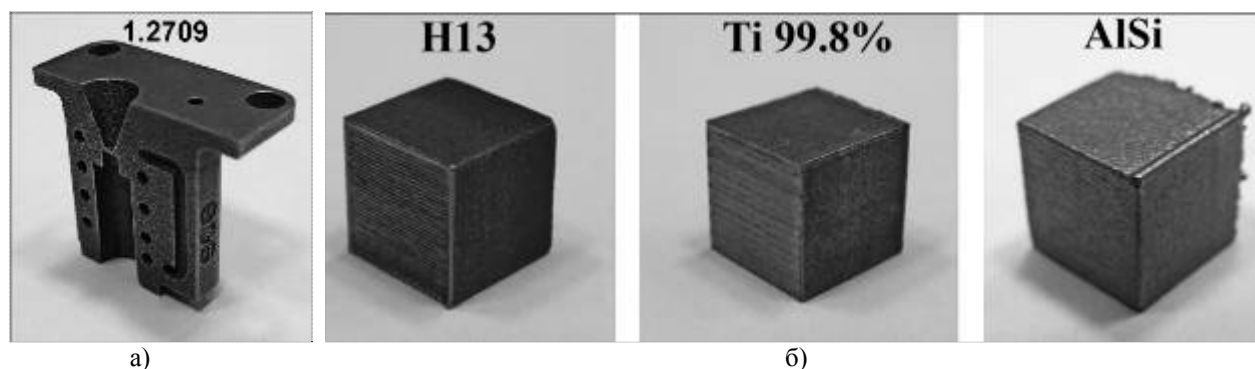


Рис. 2. Детали, полученные по технологиям: а) DMLS; б) SLM

На рис. 3, 4 представлены фотографии структуры образцов в плоскости параллельной направлению выращивания слоёв (ось z).

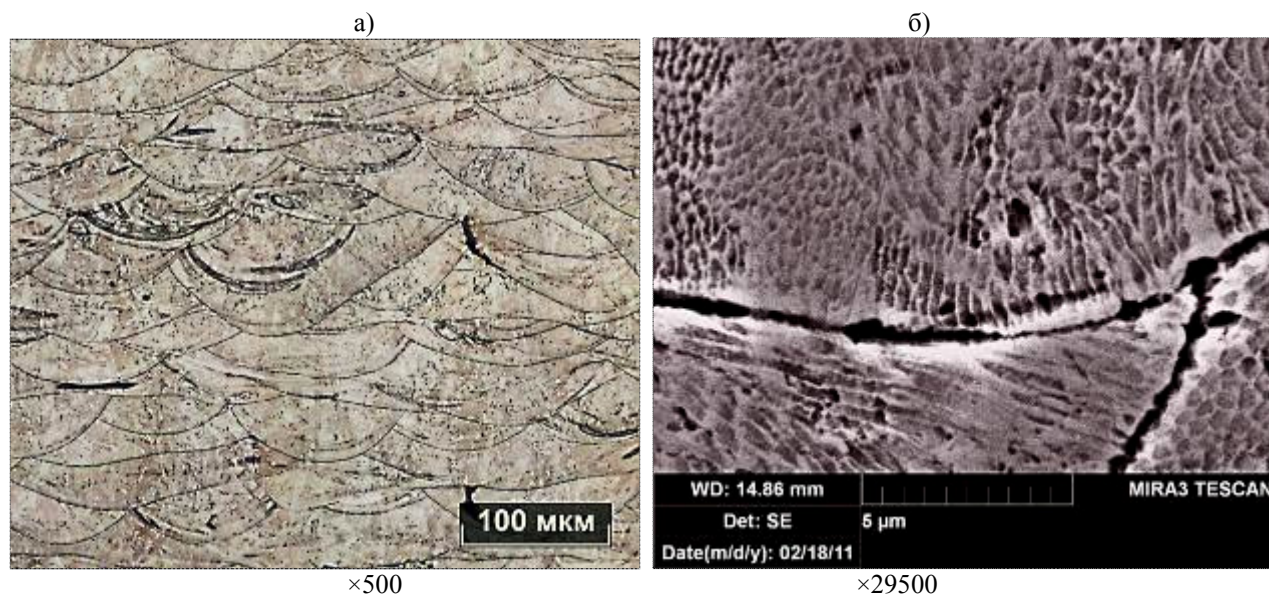
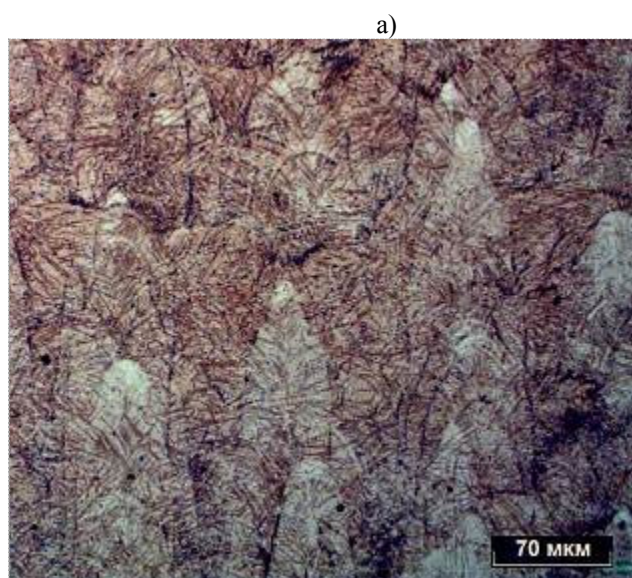
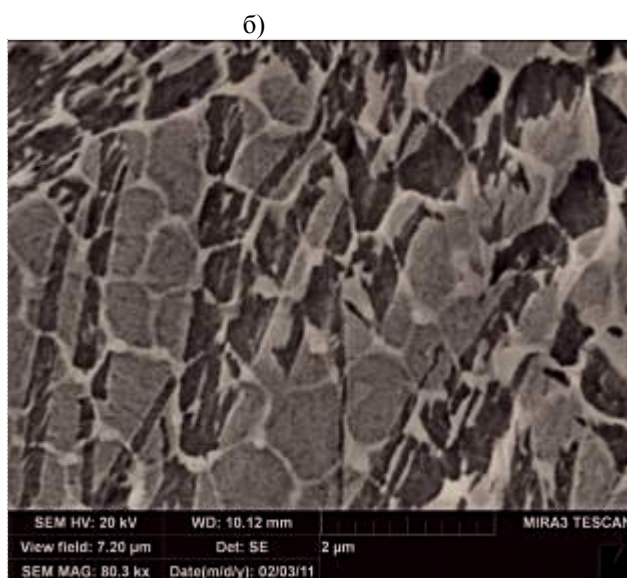


Рис. 3. Структура образца из мартенситно-твердеющей стали 1.2709, полученного методом DMLS



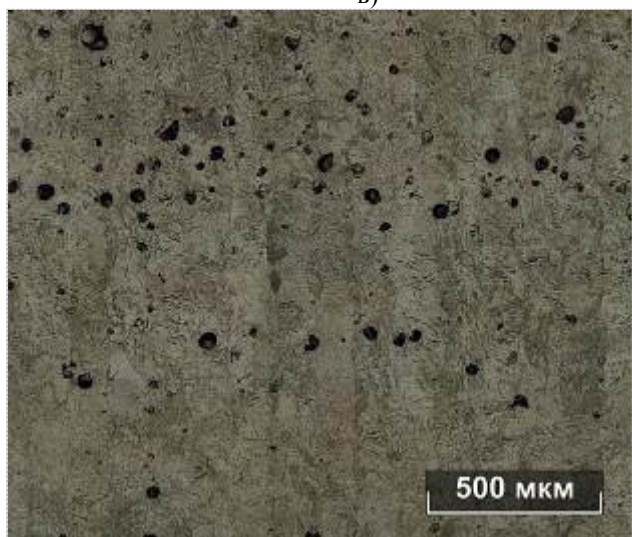
×200

б)



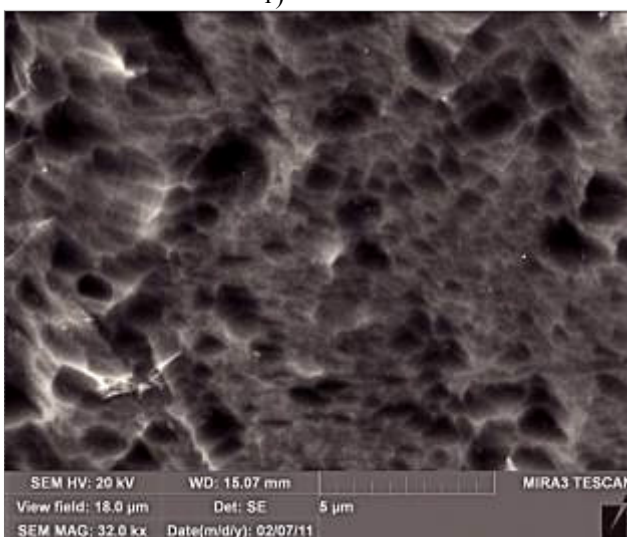
×80300

г)



×200

д)

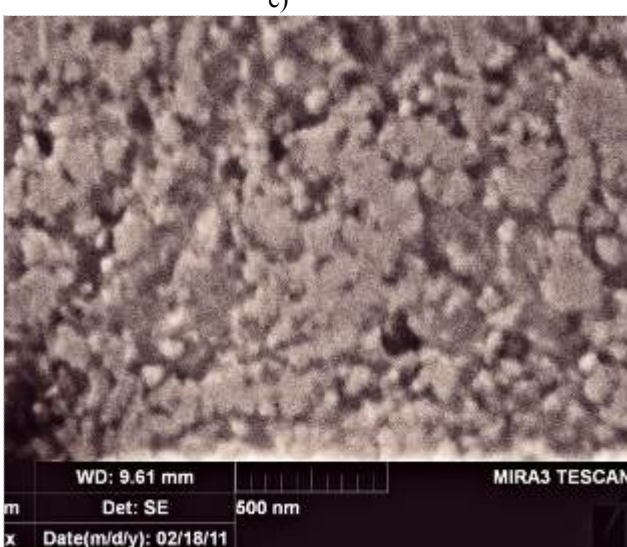


×32000

е)



×200



×221000

Рис. 4. Структура образцов, полученных методом SLM: а, б – сталь H13; в, г – титан; д, е – сплав AlSi

С помощью программы количественного анализа структуры Thixomet определена пористость полученных материалов. Результаты измерений, а

также значения плотности и твёрдости представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физические и механические свойства материалов, полученных DMLS- и SLM- методами

Технология	Материал	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Твёрдость		Размерность
				в центре	с края	
SLM	H13	7,6059	<0,2	47-55	57	HRC
	Ti	4,3928	1,6-1,7	24	27	HRC
	AlSi	2,5807	4,7-4,9	90	100	HV1
DMLS	1.2709	7,9964	<0,15	38	38	HRC

По рис. 4а, в, д видно, что микроструктура образцов, изготовленных SLM-методом, однородна и состоит из частиц конусообразной формы, направленных острым концом в сторону выращивания слоёв. В образцах, изготовленных DMLS-методом, частицы имеют вытянутую чешуйчатую форму. Средний размер частиц для технологий DMLS и SLM составляет ~100мкм.

Структура частиц представлена на рис.3б (DMLS) и на рис. 4б, г, е (SLM). Средний размер зерна отдельной частицы составляет от 500нм до 1мкм. На фоне ультрадисперсной структуры проявляется игольчатая, мартенситоподобная структура (рис. 4а). Ультрадисперсная структура образцов свидетельствует о высокой скорости зарождения центров кристаллизации в частицах. Но в технологии DMLS материал не расплавляется полностью, поэтому ультрадисперсная структура частиц, очевидно, была сформирована при производстве порошка при ускоренном охлаждении. В любом случае, получение ультрадисперсной структуры может обеспечить значительное повышение прочностных свойств получаемого материала, в соответствии с соотношением Холла-Петча. Но учитывая, что полученные детали состоят из частиц, соединённых между собой, прочность изделия во многом будет определяться качеством и структурой межчастичных границ.

Значения твёрдости материалов (см. табл. 1) также характеризуют свойства материала отдельных частиц, а не свойства всего изделия. Кроме того, после выращивания детали не подвергались специальной термической обработке, поэтому, например в мартенситно-твердеющей стали 1.2709 (DMLS) значение твёрдости (38HRC) ниже значений, достигаемых после дополнительной термообработки (55HRC). Образец, изготовленный DMLS-методом, характеризуется меньшей пористостью и более равномерным распределением твёрдости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Otto A. Combinations of Laser Material Processing and Metal Forming. – LaserOpto, 2001, n.1, pp.46–49.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664с.
3. David L. Bourell, Joseph J. Beaman. Jr. “Chronology and Current Processes for Freeform Fabrication”, – J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy Vol. 50, No.11(2003) pp.981-991.
4. Зленко М.А., Забеднов П.В. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм.
5. Yoji MARUTANI “Development of Rapid Prototyping Technology from Plastic Models to Metal Parts”, The Review of Laser Engineering Vol.24, No.4(1996) pp.467-474.
6. Fumie Abe, Yoshiro Kitamura, Costa Santos Edson, Kozo Osakada and Masanori Shiomi “Effect of Working Conditions on Mechanical Properties of Titanium Models Made by Selective Laser Melting” Journal of Japan Foundry Engineering Society, Vol. 73 (2001) No.12 pp.840-845.
7. J.P. Kruth, P. Mercelis, L. Froyen, M. Rombouts “Binding Mechanisms in Selective Laser Sintering and Selective Laser Melting”, proc. 15th Solid Freeform Fabrication Symposium, (2004) p.17.